

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh mechanizované technologie svařování ocelového
nosníku

Design Mechanized Welding Technology of Steel Beams

Student:

Bc. Kuttich Zdeněk

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Kuttich**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh mechanizované technologie svařování ocelového nosníku**
Design Mechanized Welding Technology of Steel Beams

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te studii současného stavu svařování ocelových tlustostěnných nosníků.
2. Proved'te rozbor vhodných mechanizovaných technologií svařování.
3. Navrhněte a realizujte zkušební svarový spoj pro kvalifikaci vybraného svařovacího procesu.
4. Proved'te rozbor nákladů a ekonomické zhodnocení jednotlivých variant.

Seznam doporučené odborné literatury:

HRIVŇÁK, I. *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. května 2013



.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB – TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě tuto bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí. Jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. května 2013


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Zdeněk Kuttich

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vítězná 69, 784 01 Červenka

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KUTTICH, Z. *Návrh mechanizované technologie svařování ocelového nosníku: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 52 s. Vedoucí práce: Ochodek, V.

Diplomová práce se zabývá návrhem vhodné mechanizované technologie svařování ocelových silnostěnných nosníků. V úvodu je popsán důvod mechanizace svařovacího procesu. První část práce je věnována současné technologii svařování silnostěnných nosníků a výběru svarů vhodných pro mechanizaci. V dalších částech je provedena analýza možných mechanizovaných variant svařování včetně rozboru pořizovacích nákladů, výběr vhodné technologie a návrh a realizace zkušebního svarového spoje pro kvalifikaci vybraného svařovacího procesu. Výsledkem práce je ekonomické porovnání vybraného svařovacího procesu se současnou technologií svařování nosníků.

ANNOTATION OF DIPLOMA WORK

KUTTICH, Z. *Design Mechanized Welding Technology of Steel Beams: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2013, 52 p. Thesis head: Ochodek, V.

The diploma thesis is about the projecting of suitable mechanized steel thick-walled girders welding technology. At the beginning is described the reason of using the mechanical welding process. The first part of the diploma thesis is focused on the nowadays technology of steel thick-walled girders welding and on the selection of welds proper for mechanization. The analysis of possible mechanized welding alternatives including the breakdown of acquisition investments, the selection of appropriate technology and also the project and implementation of pilot welding joint for the expertise of the choosed welding process are described in the next parts of the diploma thesis. The result is the economical comparison of choosed welding process with actual girders welding technology.

Obsah

	strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	7
Úvod	9
1. Studie současného stavu svařování ocelových nosníků.....	10
1.1 Údaje o ocelovém nosníku vybraném pro mechanizaci svařování	10
1.2 Svařitelnost uhlíkových ocelí	11
1.3 Současná technologie svařování	12
1.4 Postup sestavení a svařování ocelového nosníku	13
1.5 Výběr vhodných svarů pro mechanizaci svařování.....	14
1.6 Svařovací parametry.....	15
1.7 Požadavky na kontrolu svarů	17
2. Rozbor vhodných mechanizovaných technologií svařování.....	18
2.1 Svařování automatem pod tavidlem SAW (121)	18
2.2 Svařování dvojdrátem	21
2.3 Tandemové svařování	22
2.4 Svařování metodou TIME/TIME TWIN.....	24
2.5 Svařování sprchovým přenosem	26
3. Návrh a realizace zkušebního svarového spoje	27
3.1 Penetrační zkouška.....	28
3.2 Vizuální zkouška svarového spoje	30
3.3 Zkouška ultrazvukem	30
3.4 Metalografie svaru	31
3.5 Měření tvrdosti	32
3.6 Stanovení teploty předehřevu.....	34
3.7 Návrh WPQR a WPS pro metodu SAW (121)	35
3.8 Požadavky na kvalifikaci svářeče	36
4. Ekonomické vyhodnocení.....	37
4.1 Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu MAG (135)	37
4.2 Svařování automatem pod tavidlem SAW (121)	41
4.3 Ekonomické porovnání technologických variant	44
4.4 Zhodnocení nákladů na zavedení nové technologie.....	47
5. Závěr	48
6. Seznam použité literatury	49
7. Seznam příloh.....	51

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
BW	Tupý svarový spoj	-
C	Množství uhlíku	[%]
CE	Uhlíkový ekvivalent	-
C _E	Cena el. energie na celý nosník - MAG	[Kč]
C _{E1}	Cena el. energie na svar číslo 1 - MAG	[Kč]
C _{E2}	Cena el. energie na svar číslo 2 - MAG	[Kč]
C _{ES}	Cena el. energie na celý nosník - SAW	[Kč]
C _{ES1}	Cena el. energie na svar číslo 1 - SAW	[Kč]
C _{ES2}	Cena el. energie na svar číslo 2 - SAW	[Kč]
FW	Koutový svarový spoj	-
I	Svařovací proud	[A]
MAG	metoda poloautomatického svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v ochranném plynu	-
P _A	Příkon automatu	[kW]
P	Příkon svářečky	[kW]
PA	Poloha svařování – vodorovná shora	
Q	Tepelný příkon	[kJ/mm]
S	Sazba el. energie	[Kč/kWh]
SAW	Svařování automatem pod tavidlem	-
SK	Svarový kov	-
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	-
U	Svařovací napětí	[V]
X _C	Spotřeba el. energie na celý nosník - MAG	[kWh]
X ₁	Spotřeba el. energie na svar číslo 1 - MAG	[kWh]
X ₂	Spotřeba el. energie na svar číslo 2 - MAG	[kWh]
X _{CS}	Spotřeba el. energie na celý nosník - SAW	[kWh]
X _{S1}	Spotřeba el. energie na svar číslo 1 - SAW	[kWh]
X _{S2}	Spotřeba el. energie na svar číslo 2 - SAW	[kWh]
WPQR	Kvalifikace postupu svařování	-
WPS	Specifikace postupu svařování	-

ZK	Základní materiál	-
d	Kombinovaná tloušťka plechů	[mm]
d ₁	Tloušťka plechu 25mm	[mm]
d ₂	Tloušťka plechu 30mm	[mm]
k	Koeficient tepelné účinnosti	-
t _C	Čas za svařování celého nosníku	[h]
t ₁	Čas za svařování svaru číslo 1	[h]
t ₁	Čas za svařování svaru číslo 2	[h]
t _{S2}	Čas za svařování svaru číslo 2 metodou SAW	[h]
t _{M2}	Čas za svařování svaru číslo 2 metodou MAG	[h]
v	Rychlost svařování	[mm/s]

Úvod

Strojírenská firma Qtech, pro kterou je tato diplomová práce zpracována, se zabývá výrobou svařenců různé koncepce a velikosti včetně strojního opracování a povrchových úprav. Firma se orientuje především na oblast zahraničního trhu. Výrobky ale dodává i v tuzemsku.

V dnešní době je na trhu velké množství firem, které mají stejnou anebo podobnou koncepci výroby. Aby se tato firma na trhu udržela konkurenceschopná, musí se neustále rozvíjet a snižovat náklady na výrobu. Zákazníky dnes především zajímá kvalita výroby, cena produktu a termín, kdy je firma schopna finální výrobek dodat. Kvalita výroby je z větší části závislá na technickém vybavení firmy, technologii výroby a na kvalifikaci a zkušenostech pracovníků. Díky těmto kritériím se zkracují i výrobní časy. Pokud se výrobní čas zkrátí, tím se sníží náklady na výrobu a zvedne se výrobní kapacita firmy. To je možné realizovat ve všech oblastech strojírenství.

Tato diplomová práce se zabývá oblastí svařování ocelových silnostěnných nosníků. Pro zvýšení kvality výroby a snížení nákladů se vedení firmy rozhodlo svařovací proces mechanizovat a částečně automatizovat. V této práci je navrženo několik možných variant mechanizace svařovacího procesu. Jednu z nich si firma vybere. Následně je u vybrané technologie svařování ověřena kvalita svarového spoje na zkušební vzorku a je navržen a předběžně kvalifikován postup WPQR. Dále je navržen předběžný postup svařování WPS. Na závěr je vybraná technologie svařování porovnána z ekonomického hlediska se současnou technologií. Vybraná a ověřená technologie bude sloužit nejen pro svařování těchto nosníků, ale i pro další výrobky s podobnou koncepcí.

1. Studie současného stavu svařování ocelových nosníků

Výroba nosníků se provádí ve firmě, která se zabývá výrobou svařenců z nelegovaných nízkouhlíkových ocelí včetně strojního obrábění, nátěru a montáže. Ve firmě je zaměstnáno cca 100 zaměstnanců. Firma disponuje výrobní halou o rozloze 2880 m². Ta se dělí na dvě výrobní pole o rozměrech 80x18 m a každé z nich je osazeno dvěma mostovými jeřáby o nosnostech 8t a 16 t. Svářečská pracoviště jsou vybavena svářečkami Fronius Variosynergic 5000, TransSynergic 4000 a TranspulsSynergic 5000. Svářeči mají kvalifikaci dle normy EN 287-1. Firma je držitelem certifikátu od GSI SLV Hannover dle DIN 18800-7 třída E.

1.1 Údaje o ocelovém nosníku vybraném pro mechanizaci svařování

Jedná se o vahadlo, které spojuje patky pro zajištění stability jeřábu. Na jednom jeřábu jsou tato vahadla čtyři. Výrobní výkres vahadla je uveden pod číslem 5.5300.0390-0. Vahadlo je vyrobeno z oceli jakosti S355J2G3. Ročně se těchto vahadel vyrobí 20 až 28 kusů. Během posledních tří let se vyrobilo 76 kusů. Svařování se provádí ruční metodou MAG (135). Sestavování, stehování a svařování se provádí na znivelovaných plotnách. S jednotlivými díly (plechy) se manipuluje pomocí konzolových jeřábů, kterými jsou zámečnická pracoviště vybavena. Manipulace a polohování již sestavených vahadel se provádí pomocí mostových jeřábů, které mají větší nosnost než konzolové.

Potřebný čas ke svaření jednoho nosníku

Svařování jednoho nosníku trvá 51,2 hodin. V tomto čase je zahrnut čistý čas svařování, přípravný čas, doba předehřevu, čas drážkování a čištění kořene svarů a manipulační čas. Všechny tyto časy jsou uvedeny v tabulce 1. Čas svařování, který činí 40,7 hodin je podrobně rozepsán v časovém rozboru svařování, který je přílohou A. Zde je nutno upozornit na to, že veškeré úkosové svary jsou svařovány s navýšením. Velikost navýšení udává interní norma zákazníka, která je přílohou B. Tento předpis má značný vliv na dobu svařování.

Tabulka 1 - Souhrn časů svařování nosníku

Druh činnosti	Výrobní čas [min]	Výrobní čas [h]
Svařování	2444	40,7
Příprava	30	0,5
Drážkování a čištění kořene svaru	160	2,67
Přehřev	120	2
Manipulace	120	2
Celkový čas	3075	51,2

1.2 Svařitelnost uhlíkových ocelí

Ocel je dobře svařitelná pokud je možné bez omezujících podmínek zhotovit svarový spoj požadovaných vlastností. Za omezující podmínky se považuje například nevyhnutelnost použití přehřevu, obtížnost získání celistvého svarového spoje a kontrola teplotního režimu svařování. Svařitelnost uhlíkových ocelí je dána především jejich chemickým složením a uhlíkovým ekvivalentem. Největší vliv na svařitelnost má uhlík. Při vyšším obsahu uhlíku by mohlo dojít k zakalení při svařování což je nepřipustné. Maximální tvrdost v teplem ovlivněné oblasti je 350 HV. Dále by se zvýšila i náchylnost ke vzniku studených trhlin. Aby se zabránilo vzniku těchto trhlin je nutné použití přehřevu. Oceli o tloušťce menší než 25 mm s obsahem $C \leq 0,22 \%$ a uhlíkovým ekvivalentem $CE \leq 0,45$ nevyžadují při svařování použití přehřevu. Totéž platí i pro oceli, které mají tloušťku menší než 37 mm s obsahem $C \leq 0,22 \%$ a uhlíkovým ekvivalentem $CE \leq 0,41$. Pokud mají tyto oceli tloušťku větší než 25 mm nebo 37 mm, tak se vždy přehřívají. Uhlíkový ekvivalent CE se stanovuje výpočtem dle normy ČSN EN 1011-2. Přehřívání svarových spojů je předepsáno normou ČSN EN ISO 13916. Velikost teploty přehřevu se stanovuje buď podle ARA diagramů „In situ“, nebo výpočtem. Obě metody jsou předepsány normou ČSN EN 1011-2. Při zjišťování teploty přehřevu podle ARA diagramů je nutné znát hodnotu tepelného příkonu Q v $[kJ \cdot mm^{-1}]$, která je předepsána normou ČSN EN 1011-1. [4, 5]

Pokud je předpokládáno nebezpečí vodíkového praskání, je doporučován dohřev svarových spojů. Buď se setrvá na teplotě interpass a nebo se teplota zvýší na 200-300 °C. Výdrž na této teplotě se určuje podle tloušťky stěny svařence. Nejméně 2 hodiny. Vliv na vznik vodíkového praskání má například nízká teplota, vysoká relativní vlhkost, povětrnostní podmínky a velké svařované tloušťky. Teplota interpass je teplota vícevrstvého svaru. Před nanesením další svarové housenky musí mít svár předepsanou teplotu. [4, 5]

Dále se svařence větších tloušťek žíhají na snížení zbytkových napětí. Teploty žíhání se pohybují v rozsahu 550-650 °C. Rychlost ohřevu na žíhací teplotu, žíhací teplota, doba výdrže na teplotě a rychlost ochlazování jsou uvedeny v normě ČSN 05 0211. V praxi se často doba výdrže na žíhací teplotě stanovuje podle kritéria 4 minuty na 1 mm maximální tloušťky. [4, 5]

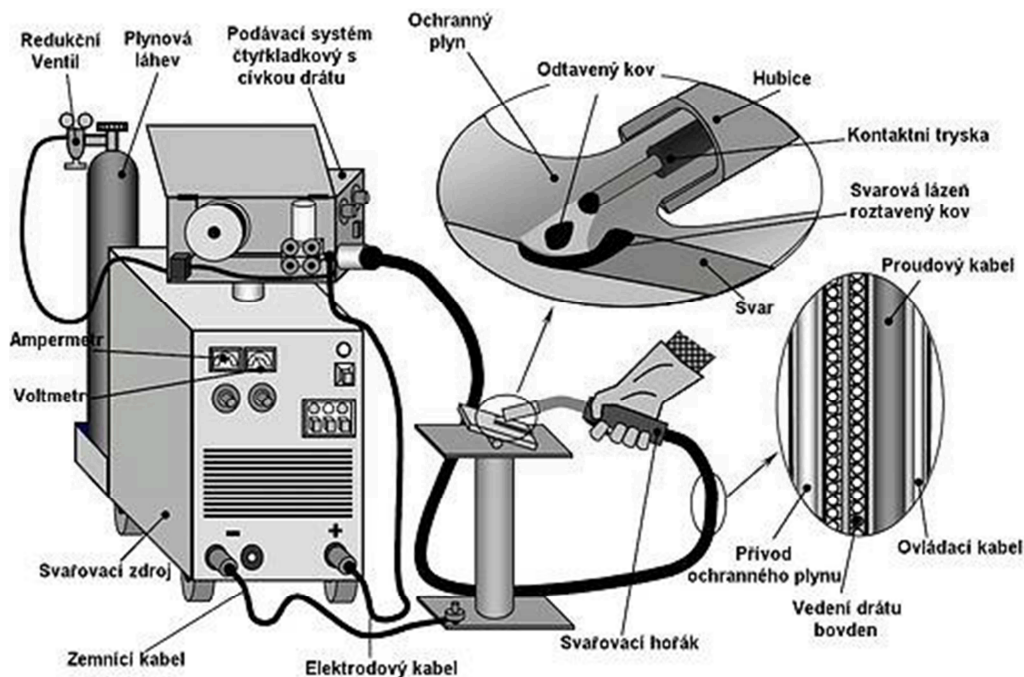
1.3 Současná technologie svařování

Pro svařování nosníků je v současné době používána metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG (135). Tato metoda má kvalifikovaný postup svařování WPQR jehož číslo je 1P-851. Tento dokument je přílohou C. Provedení koutových svarů je specifikováno ve WPS číslo 35-FW-PF_QT, která je v příloze D. Provedení tupých svarů je specifikováno ve WPS číslo 35-BW2-PF_QT, která je v příloze E.

Popis metody MAG

Je to metoda poloautomatického svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou v ochranném plynu. Teplo vzniká hořením elektrického oblouku mezi dodávaným drátem (elektrodou) a svařencem. Odtavovaný drát je do místa svařování dodáván pomocí podavače z cívky. Zdrojem svařování je stejnosměrný proud. Kladný pól je přiváděn do elektrody a záporný pól tvoří svařovaný materiál. Ochranu svarové lázně zabezpečuje ochranný plyn, který je dodáván buď z tlakové láhve anebo z centrálního rozvodu plynu. Úkolem ochranné atmosféry je chránit tavnou lázeň a oblouk před atmosférickou oxidací.

U této metody svařování se používá aktivní plyn. Ten chemicky reaguje s tavnou lázní. V současné době se používá CO_2 a směsi argon/kyslík nebo argon/ CO_2). Pro uhlíkové oceli se nejvíce používá poměr 80 % Ar / 20 % CO_2 . [1, 2, 9]



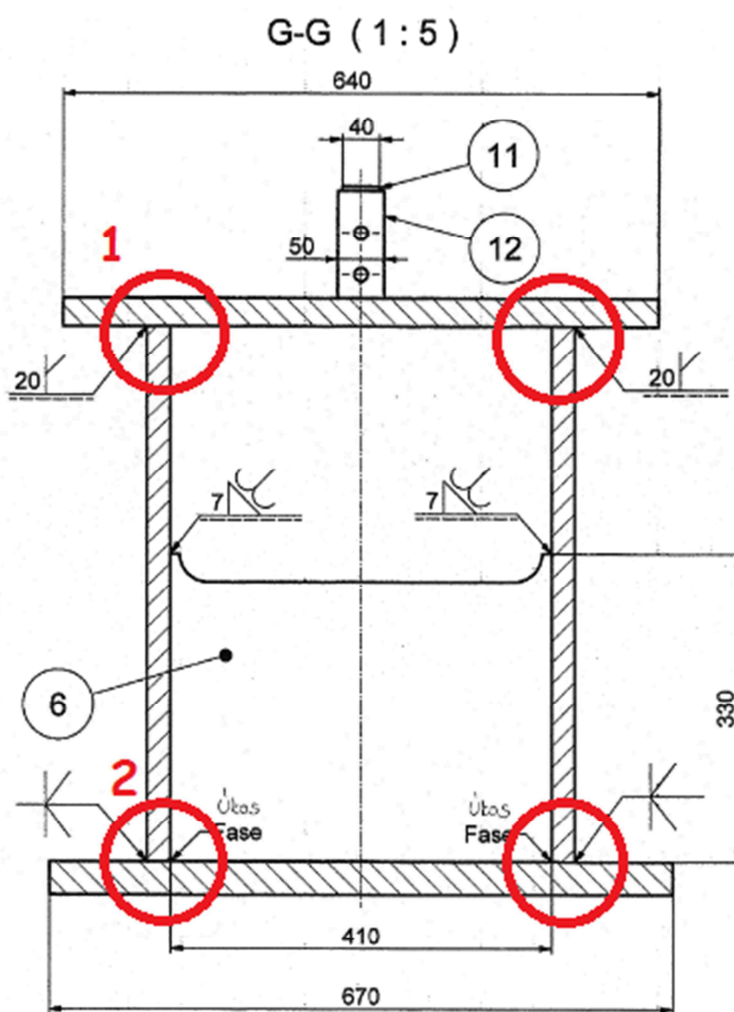
Obr. 1 – Princip svařování MAG [1]

1.4 Postup sestavení a svařování ocelového nosníku

Veškeré označení pozic naleznete na výkrese číslo 5.5300.0390-0, který najdete na konci diplomové práce. Na základní plech pozice 2 (dále jen poz.) se nejprve ustaví a přistehují bočnice poz.5. Dále se na bočnice ustaví a přistehuje poz.1. Takto sestavený nosník se svaří pouze z vnitřní strany. Mezi bočnice se vloží a přistehují žebra poz.3, poz.4, poz.6 a poz.7. Všechna žebra se přivaří. Pouze žebra pozice 3 se přivaří z jedné strany. V této fázi se vydrážkují jednostranně zavařená svary a dovaří se. Po té se ke svařenci ustaví krycí plechy poz.10. Dále pak poz.12, poz.11, poz.8 a poz.9. Po ustavení všech detailů se vše dovaří. V průběhu sestavování a svařování je nutno kontrolovat svary, které budou později nepřístupné.

1.5 Výběr vhodných svarů pro mechanizaci svařování

Pro mechanizaci svařování byly vybrány svary, které jsou barevně označeny na obrázku 2. Na tomto obrázku je řez G-G. Ten je vybrán z výrobního výkresu číslo 5.5300.0390-0. Tyto svary byly pro mechanizaci vybrány z důvodu jejich délky a dobrého přístupu pro svařovací zařízení.

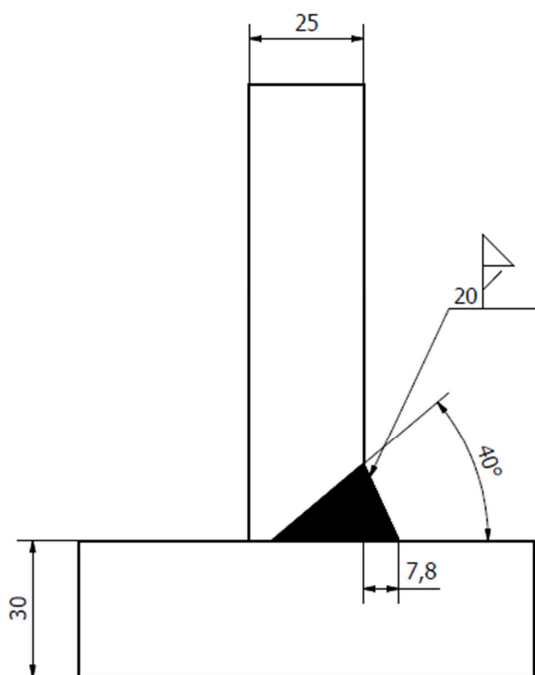


Obr. 2 – Vybrané svary pro mechanizaci svařování

1.6 Svařovací parametry

Svár číslo 1 z obrázku 2

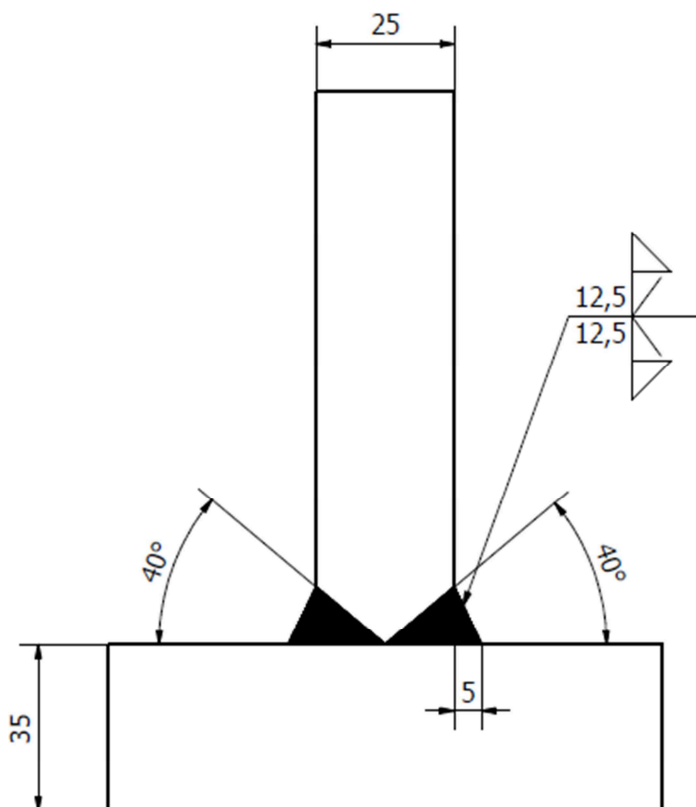
Jedná se o úkosový svár $\frac{1}{2}V$ s otupením 5 mm. Tento svár je vařen na 7 vrstev (housenek). První a druhá svarová housenka je vařena svařovacím proudem 150 A a napětím 18 V. Třetí až sedmá svarová housenka jsou vařeny svařovacím proudem 262 A a napětím 30 V. Provedení sváru je specifikováno ve WPS číslo 35-BW2-PF_QT, která je v příloze E. Dále následuje navýšení svaru, které je vařeno na 3 vrstvy (housenky). Velikost navýšení je určena interní normou zákazníka, která je přílohou B a odpovídá koutovému svaru velikosti 6. Navýšení je vařeno stejnými parametry a jeho provedení je specifikováno ve WPS číslo 35-FW-PF_QT, která je v příloze D. Na obrázku 3 je detail svarového spoje. Provedení tohoto svaru zůstane stejné a jeho svařování bude pouze mechanizováno.



Obr. 3 – Detail svarového spoje

Svár číslo 2 z obrázku 2

Jedná se o úkosový svár K. Tento svár je vařen na 8 vrstev (housesnek). První a druhá svarová housenka je vařena svařovacím proudem 150 A a napětím 18 V. Třetí a čtvrtá svarová housenka jsou vařeny svařovacím proudem 262 A a napětím 30 V. Provedení sváru je specifikováno ve WPS číslo 35-BW2-PF_QT, která je v příloze E. Po té následuje vydrážkování a vyčištění kořene svaru. Po vyčištění kořene se svár dovaří z druhé strany stejnými parametry jako předchozí strana. Z obou stran je svár navýšen. Velikost navýšení je určena interní normou zákazníka, která je přílohou B. Velikost navýšení je určena interní normou zákazníka, která je přílohou B a odpovídá koutovému svaru velikosti 6. Navýšení je vařeno stejnými parametry a jeho provedení je specifikováno ve WPS číslo 35-FW-PF_QT, která je v příloze D. Na obrázku 4 je detail svarového spoje. Pro mechanizování svařování tohoto svaru, bude muset být tento úkos upraven.



Obr. 4 – Detail svarového spoje

1.7 Požadavky na kontrolu svarů

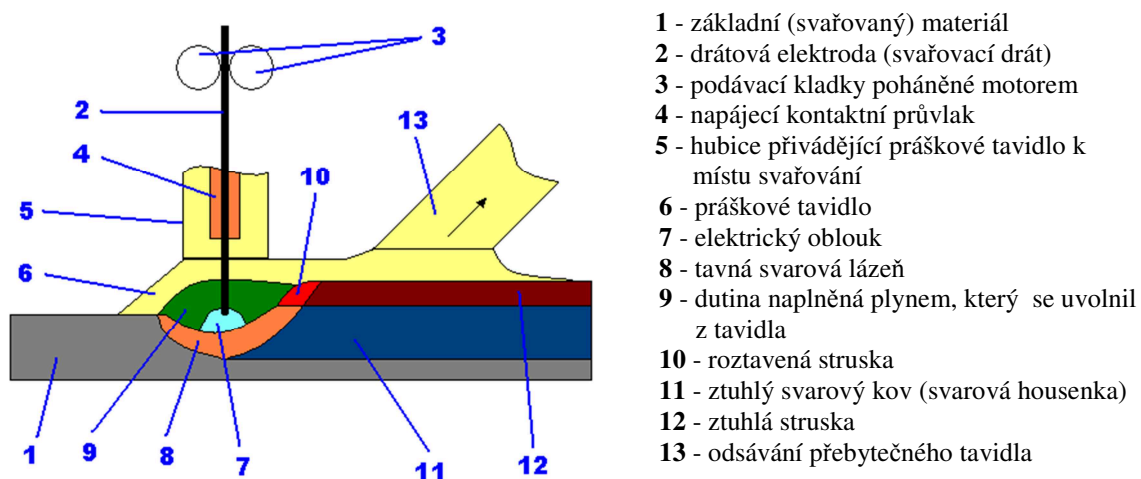
Na celý svařenec je požadována 100 % vizuální kontrola (VT) svarů, jejíž provedení je předepsáno normou ČSN EN ISO 5817. Jejím obsahem je kontrola vzhledu svarů, velikosti svarů a kvality napojení svarových housenek. Dále je u tohoto svařence požadována 20-30 % magnetická zkouška (MT) svarů, která je předepsána normou ČSN EN ISO 17638. Stupeň přípustnosti je 2 a je předepsán normou ČSN EN ISO 23278. Posledním požadavkem je 20-30 % kontrola ultrazvukem (UT) všech svarů. Tato kontrola je předepsána normou ČSN EN ISO 17640. Stupeň přípustnosti je 2 a je předepsán normou ČSN EN ISO 11666. Pokud bude nalezena vada, tak bude nutná 100 % kontrola UT. Cílem této kontroly je zjistit zdali se ve svarech nenacházejí vnitřní vady. Kontrolu svarů ve firmě provádí interní kvalifikovaný pracovník.

2. Rozbor vhodných mechanizovaných technologií svařování

Existuje několik způsobů jak realizovat mechanizaci svařování vybraných svarů. Pro svařování těchto nosníků byly vybrány čtyři mechanizované technologie svařování. Každá metoda sebou nese různé výhody, nevýhody a různé náklady na jejich realizaci. Pro správný výběr mechanizované technologie svařování a správné ekonomické zhodnocení jsou zde jednotlivé metody popsány včetně jejich požadavků na realizaci.

2.1 Svařování automatem pod tavidlem SAW (121)

Svařování pod tavidlem se označuje zkratkou SAW (Submerged Arc Welding). Je to druh svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Elektrodu tvoří drát, který je navinutý na cívce. Pomocí podavače je posouván do hořícího oblouku. Princip je podobný jako u metody MAG, ale místo plynu ochranu hořícího oblouku tvoří sypké tavidlo, které je dodáváno ze zásobníku. Vlivem působení vysoké teploty se mimo drátu a základního materiálu taví také část tavidla. Při tomto procesu se uvolňují plyny, které vytvářejí dutinu, ve které hoří elektrický oblouk. Po ztuhnutí části tavidla vzniká struskový kryt. Tavidlo na sebe současně váže nečistoty, dolegovává svarový kov a působí na formování svaru. Zbytek neroztaveného tavidla je odsáván zpět do zásobníku pro další použití. Obrázek 5 popisuje princip svařování. [1, 2]



Obr. 5 – Princip svařování pod tavidlem [2]

Zařízení pro svařování pod tavidlem tvoří elektromotorem poháněný vozík nazývaný „svařovací traktor“ a je zabezpečena stabilizace oblouku. Na svařovacím traktoru je umístěn hořák, cívka s drátem, podavač, násypka s tavidlem, vysavač přebytečného tavidla a řídicí panel pro regulaci parametrů. Traktor je napojen na svářečku. Pojezd je buď zajištěn pomocí kolejnic anebo přímo po materiálu. Místo svařovacích traktorů se používají i pevné svařovací hlavy. Posuv vykonává svařovaný materiál. Stabilizaci oblouku se rozumí zajištění jeho konstantní délky. Existují dva způsoby stabilizace. Prvním způsobem je stabilizace plochou statickou voltampérovou charakteristikou zdroje svařovacího proudu. To znamená, že drán je podáván konstantní rychlostí. Pokud dojde ke zkrácení oblouku, tak zdroj automaticky sníží napětí. To platí i při prodloužení oblou, kdy zdroj automaticky napětí zvýší. Druhým způsobem je použití zdroje se strmou statickou voltampérovou charakteristikou. V tomto případě je stabilizace prováděna regulací rychlosti podávání drátu v závislosti na délce oblouku, která je úměrná měrnému napětí na oblouku. Jako zdroj svařovacího proudu se používá střídavý i stejnosměrný proud. Svařovací proud se pohybuje v rozmezí od 200 do 1000 A, napětí od 25 do 38 V. Výkon odtavení drátu je až $12 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. [1, 2, 3, 7]

V tomto případě je svařována tloušťka materiálu 25 mm drátem o průměru 4 mm. Svařovací proud 720 A, napětí 34 V a rychlost svařování $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Investice firmy

Pro použití této mechanizované technologie svařování by firma musela zakoupit zařízení pro svařování. V tabulce 2 je uvedena sestava zařízení pro svařování drátem o průměru 4 mm od firmy ESAB včetně cenové nabídky. Na obrázku 6 je zobrazen svařovací traktor A6 Mastertrac A6TF pro svařování jedním drátem. Dále by bylo nutné zakoupit sušící pec na tavidlo.

Tabulka 2 – Sestava svařovacího zařízení

Název	Počet	Cena v [Kč]
A6T Mastertrac SAW 156:1, panel PEK, manuální suporty (std)	1	450 144
Pilot Lamp Laser 2m Cord	1	28 049
OPC Basic zařízení pro recirkulaci tavidla	1	33 032
Hadice pro stlač vzduch OPC Basic	1	3 195
Adaptér cívky drátu 30 kg, plastový	1	7 084
Zdroj LAF 1001	1	328 701
Svařovací kabel 15m, Area: 95mm ²	2	20 450
Zemní kabel 10m, Area: 95mm ²	2	14 150
Řídicí kabel 15m PEK - LAF/TAF	1	32 554
Referenční kabel 10m	1	2 255
Keramická tavidlová násypka A6	1	2 894
Podávací kladka 4,0mm	1	2 330
Kontaktní čelisti 4,0mm, 58mm	2	3 166
Cena sestavy		927 860
Cena po slevě 30%		649 502



Obr. 6 – Svařovací traktor ESAB – A6 Mastertrac A6TF single [3]

2.2 Svařování dvojdrátem

Tento způsob svařování pod tavidlem je obdobný jako svařování jedním drátem. Dosahuje se při něm vysokého výkonu svařování s širokým závarem. Princip spočívá v tom, že jsou do svarové lázně přiváděny dva vedle sebe umístěné dráty současně. Dráty jsou napojené na jeden zdroj proudu. Pro tuto metodu se používají standardní svařovací zdroje s dvojitým kladkovým podáváním a s dvojitými kontaktními průvlaky. Svařovací proud se pohybuje v rozmezí od 400 do 1200 A, napětí od 26 do 38 V. Výkon odtavení drátu je až $15 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. [1, 2, 3, 7]

Investice firmy

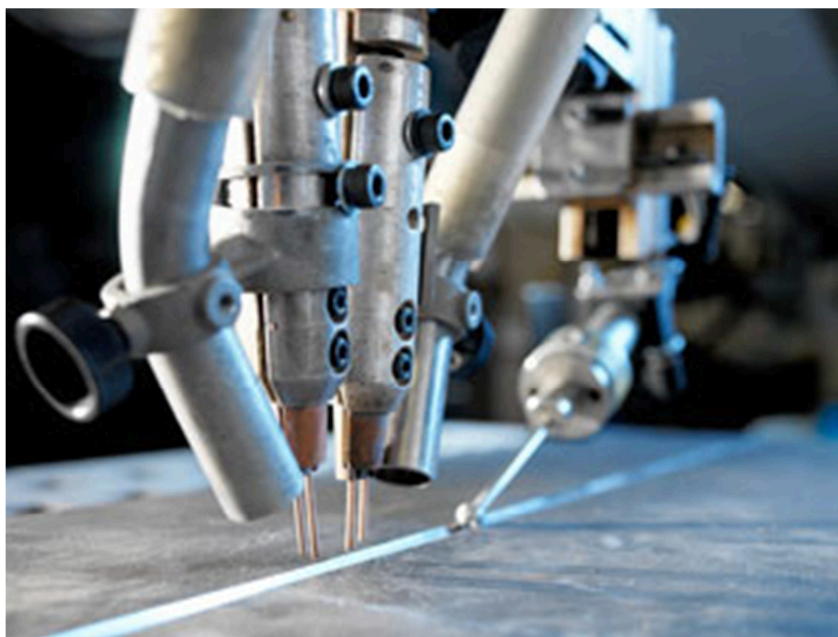
Pro použití této mechanizované technologie svařování by firma musela zakoupit obdobné svařovací zařízení jako u předchozí metody. V tabulce 3 je uvedena sestava zařízení pro svařování drátem o průměru 4 mm od firmy ESAB včetně cenové nabídky. Dále by bylo nutné zakoupit sušící pec na tavidlo.

Tabulka 3 – Sestava svařovacího zařízení

Název	Počet	Cena v [Kč]
A6T Mastertrac SAW 156:1, panel PEK, manuální suporty (std)	1	450 144
Pilot Lamp Laser 2m Cord	1	28 049
OPC Basic zařízení pro recirkulaci tavidla	1	33 032
Hadice pro stlač vzduch OPC Basic	1	3 195
Adaptér cívky drátu 30 kg, plastový	2	14 168
Zdroj LAF 1001	1	328 701
Svařovací kabel 15m, Area: 95mm ²	2	20 450
Zemnicí kabel 10m, Area: 95mm ²	2	14 150
Řídící kabel 15m PEK - LAF/TAF	1	32 554
Referenční kabel 10m	1	2 255
Keramická tavidlová násypka A6	1	2 894
Dvojitá podávací kladka 4,0mm	1	3 500
Dvojité kontaktní čelisti 4,0mm, 58mm	2	5 166
Cena sestavy		938 258
Cena po slevě 30%		656 781

2.3 Tandemové svařování

Tandemové svařování je obdobné jako svařování dvojdrátem. Zde jsou dráty umístěny za sebou. Každý z drátů je napojený na svůj vlastní svařovací zdroj a má svou vlastní řídicí jednotku. Na obrázku 7 je zobrazen tandemový způsob svařování dvojdrátem. Dvě hubice na koncích zabezpečují dopravu tavidla. Přední hubice svarovou lázeň tavidlem zasypává a zadní tavidlo odsává. Většinou se na přední elektrodě nastavuje vyšší výkon. Tím se dosáhne dokonalého natavení studeného základního materiálu a provaření kořene svaru. Druhá elektroda svarovou lázeň vyplní a svařovací oblouk prodlouží krystalizaci svarové lázně. Tím se docílí menší náchylnosti ke vzniku trhlin. Svařovací proud se pohybuje v rozmezí od 1500 do 2400 A, napětí od 28 do 38 V. Výkon odtavení drátu je až $55 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$. [1, 2, 3, 7, 8]



Obr. 7 – Tandemové svařování dvojdrátem [8]

Investice firmy

Pro použití této mechanizované technologie svařování by firma musela zakoupit zařízení pro svařování. V tabulce 4 je uvedena sestava zařízení pro svařování drátem o průměru 4 mm od firmy ESAB včetně cenové nabídky. Na obrázku 8 je zobrazen svařovací traktor A6 Mastertrac A6TF pro tandemové svařování. Dále by bylo nutné zakoupit sušící pec na tavidlo.

Tabulka 4 – Sestava svařovacího zařízení

Název	Počet	Cena v [Kč]
A6T Mastertrac SAW 156:1, 2x panel PEK, manuální suporty (std)	1	500 144
Pilot Lamp Laser 2m Cord	1	28 049
OPC Basic zařízení pro recirkulaci tavidla	1	33 032
Hadice pro stlač vzduch OPC Basic	2	6 390
Adaptér cívky drátu 30 kg, plastový	2	14 168
Zdroj LAF 1001	2	657 402
Svařovací kabel 15m, Area: 95mm ²	4	40 900
Zemní kabel 10m, Area: 95mm ²	4	28 300
Řídící kabel 15m PEK - LAF/TAF	2	65 108
Referenční kabel 10m	2	4 500
Keramická tavidlová násypka A6	1	2 894
Podávací kladka 4,0mm	2	4 660
Kontaktní čelisti 4,0mm, 58mm	4	6 332
Cena sestavy		1 391 879
Cena po slevě 30%		974 315



Obr. 8 – Svařovací traktor ESAB – A6 Mastertrac A6TF tandem [3]

2.4 Svařování metodou TIME/TIME TWIN

Je to vysokovýkonný svařovací proces. O vysokovýkonném procesu hovoříme tehdy, má-li jeden nebo více masivních drátů o průměru 1 až 1,2 mm rychlost větší než 15 m/min. Při použití drátů větších průměrů nebo trubičkových drátů se za vysokovýkonný svařovací proces považuje ten, který má odtavný výkon více než 8 kg/h. Tato metoda se používá pro svařování velmi dlouhých svarů s velkým průřezem. Oproti svařování MIG/MAG má proces TIME delší vyčnívající volný konec drátu, který se nazývá výlet drátu (Stick-Out). Zároveň má i větší rychlost drátu a modifikované složení ochranných plynů. Svařovací postup TIME je možné provádět manuálně, mechanizovaně, ale je možné jej také automatizovat.

Na obrázku 9 je znázorněna nejvýkonnější varianta TimeTwin. Ta využívá dvou současně se odtavujících drátů ve společné tavné lázni. U tohoto postupu se používá hořák, který má vzájemně izolované kontaktní trubice. Přechod materiálu pro každou elektrodu je řízen selektivně. Časový průběh přechodu materiálu na jednotlivých drátech řídí synchronizační jednotka. Rychlost svařování je oproti metodě MIG/MAG dvojnásobná až trojnásobná. Je dosaženo minimálního rozstřiku a nejvyšší možné kvality.

Jako ochranný plyn se používá směs inertních a aktivních plynů. Nejčastěji směs argonu doplněného příměsí hélia, kysličníku uhličitého a kyslíku.

Technika svařovacího zdroje, posuv drátu a svařovací hořák jsou podobné jako u metody MIG/MAG. Jsou ale dimenzovány pro vysokovýkonné svařování. Ruční hořáky mívají stavitelnou kontaktní trubici, která slouží pro nastavování výletu drátu. Dále mají dvouokruhový chladicí systém. [6]

Investice firmy

Pro použití této mechanizované technologie svařování by bylo nutné zakoupit zařízení pro svařování od firmy Fronius. V tabulce 5 je uvedena sestava toho zařízení včetně cenové nabídky. V tabulce je uveden i typ a cena vhodného pojezdového vozíku a ovládacího zařízení.

Tabulka 5 – Sestava svařovacího zařízení

Název	Cena v [Kč]
TransPlusSynergic 4000	138 768
Vestavba: LHSB TPS 4000/5000	16 440
Software: FS Time Twin Digital	47 328
Software: FS Spatter Free Ignition	16 704
Vestavba: Rozdělovač Localnet aktivní	6 216
TransPlusSynergic 4000	138 768
Vestavba: LHSB TPS 4000/5000	16 440
Software: FS Time Twin Digital	47 328
Software: FS Spatter Free Ignition	16 704
Vestavba: Rozdělovač Localnet aktivní	6 216
Propojovací kabel 2m LHSB	3 192
Chladicí modul FK 9000-R	60 648
Podavač VR 7000 4R/G/W/F++	43 560
Vestavba: PMR4000 PullMig TS/TPS/2700-5000	6 792
Vestavba: Přípojka Robacta VR 4000/7000	3 288
Vestavba: Vyfukování hořáku High End	9 504
Podavač VR 7000 4R/G/W/F++	43 560
Vestavba: PMR4000 PullMig TS/TPS/2700-5000	6 792
Vestavba: Přípojka Robacta VR 4000/7000	3 288
Vestavba: Vyfukování hořáku High End	9 504
Stojanová konzola pro digitální zdroje 2 ks	11 952
Čep podavače VR 4000/7000 ke stojanové konzoli 2 ks	9 648
Kabel k dálkovému regulátoru 10 pólů/10m 2 ks	6 720
Nástavec Robacta Twin 900 0° symetrický L=360 mm	34 104
Hadicové vedení Robacta Drive Tw Ex W/F++/3,6m	166 536
Základní výbava Drive Twin 1,2	3 710
Propojovací svazek W/1,6m/70mm ² VR 4000/7000 2 ks	18 528
Kabel zemnicí 95mm ² 10m/1000A/ 35%, zástrčka 95mm ² /oko D13,5mm 2 ks	15 504
Redukční ventil Ar standard 3-30 l/min 2 ks	2 616
FMP kompletace High End	6 816
Uvedení do provozu 10h	15 120
Zaškolení 7h	13 608
Vozík FDV 50	132 876
Ovladač FRC 9 s kabelem 3m pro vozík FDV 50	20 232
Cena sestavy	1 099 010



Obr. 9 – Vysokovýkonné svařování za použití procesu TimeTwin [4]

2.5 Svařování sprchovým přenosem

U sprchového přenosu se používají vysoké hodnoty svařovacích proudů. Svařovací proud se používá v rozsahu 200 až 500 A a napětí 28 až 40 V. Sprchový přenos se používá v ochranné atmosféře čistého argonu anebo směsí, ve kterých procentuální většinu převažuje argon (od 80 %). Pro sprchový přenos je charakteristické klidné hoření oblouku a vysoký svařovací výkon. Svařovací proud je konstantní. Svary jsou hladké a mají plynulý přechod do základního materiálu. [9]

Investice firmy

Pro použití této metody svařování by nebyla investice příliš velká, protože firma disponuje svářečkami, které umožňují svařování sprchovým přenosem. Aby byla zajištěna mechanizace svařovacího procesu, stačilo by zakoupit pojezdový vozík FDV 50 a ovládací zařízení FRC 9 od firmy Fronius. Cena tohoto kompletu činí 153 108 Kč.

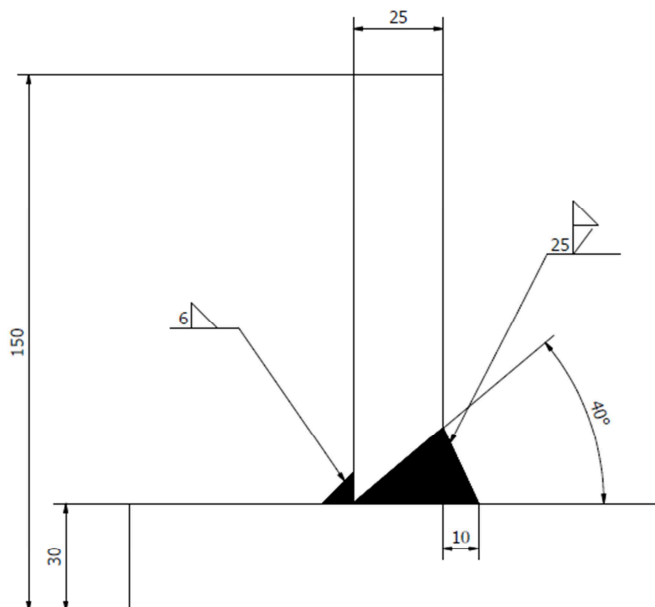
3. Návrh a realizace zkušebního svarového spoje

Firma Qtech se rozhodla pro metodu svařování automatem pod tavidlem (121). Ověření kvality svarového spoje bylo provedeno na zkušebním svarovém vzorku, který simuluje svarový uzel číslo 2 z obrázku 2. Tento uzel byl vybrán, protože je na něm svar plně provařený. Zkušební vzorek byl zhotoven z plechů, ze stejného materiálu jako je skutečný nosník. Jedná se o ocel S355J2G3. Rozměry plechů vzorku byly 120 mm x 400 mm. Tloušťka plechů na vzorku byla 25 mm a 30 mm a odpovídala skutečné tloušťce plechů použitých na nosníku. Byl pouze upraven úkos, tak aby mohla být větší část svaru svařena z vnější strany. Detail navrženého svarového spoje je na obrázku 10. Detail původního provedení svaru je na obrázku 4 v kapitole 1.6. Úkos pro svár na zkušebním vzorku byl zhotoven třískovým obráběním na frézce. Styková plocha na plechu byla očištěna broušením.

Svaření takto připravených plechů proběhlo dle obrázku 10. Z jedné strany byly plechy svařeny koutovým svarem velikosti 6. Tento svar byl svařován na 3 vrstvy ručně tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG (135). První vrstva se vařila svařovacím proudem $I=140$ V a napětím $U=18$ V. Druhá a třetí vrstva se vařila svařovacím proudem $I=160$ V a napětím $U=19$ V. Pro svaření byl použit přídatný materiál OK Aristorod 12.50 od firmy ESAB. Po této operaci byl kořen svaru vybroušen, aby bylo dosaženo kvalitního průvaru. Po vybroušení kořene svaru byla provedena penetrační zkouška. Po provedení této zkoušky byl svár dovařen z druhé strany automatem pod tavidlem (121). Svaření tohoto svaru byl na 9 vrstev. Jako přídatný materiál byl použit drát OK Autrod 12.20, průměr 4 mm a tavidlo OK Flux 10.71 od firmy ESAB. Svařovací parametry byly následující. Svařovací proud 720 A, napětí 34 V a rychlost svařování 10 mm.s^{-1} .

Na kompletně svařeném zkušebním vzorku byla provedena zkouška svarů ultrazvukem naším interním kontrolorem. Dále byla na zkušebním vzorku provedena zkouška makrostruktury svarového spoje v souladu s prováděcí technickou normou ČSN EN 1321. Po té byla měřena tvrdost svarového kovu, teplem ovlivněné oblasti a základního materiálu. Zkoušení proběhlo ve zkušební laboratoři Vysoké školy Báňské. Výsledky provedených zkoušek byly zaznamenány v kontrolních protokolech a vyhodnoceny.

Dále bude provedeno stanovení teploty předehřevu dle prováděcí normy ČSN EN 1011-1. Tyto kontroly a měření budou sloužit pro předběžnou kvalifikaci postupu svařování WPQR a pro zhotovení specifikace svařovacího postupu WPS.



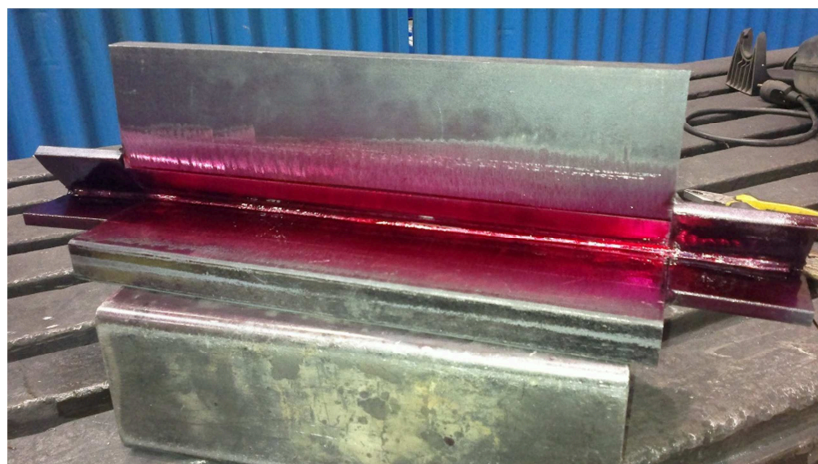
Obr. 10 – Detail svarového spoje

3.1 Penetrační zkouška

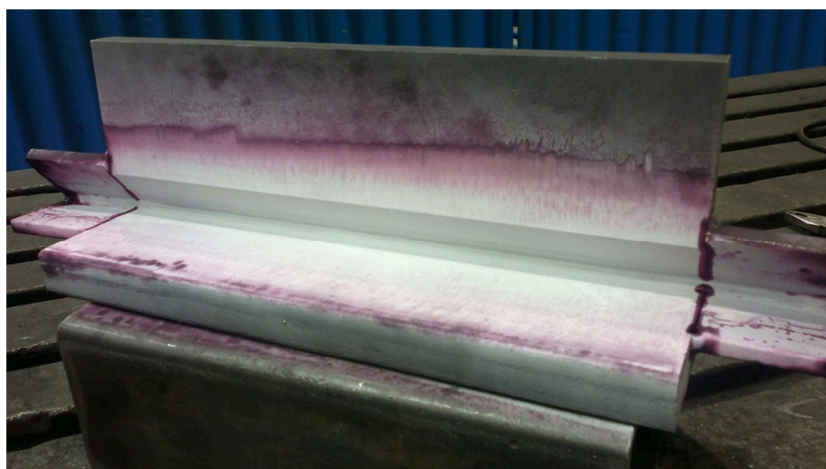
Na zkušebním vzorku byla provedena penetrační zkouška metodou barevné indikace. Zkouška a její vyhodnocení bylo uskutečněno při umělém osvětlení 1200 Lx. Vše proběhlo v souladu s normami EN 571-1, EN ISO 3059, ČSN EN 23277 a EN 3452-2. Zkoušku prováděl kvalifikovaný firemní kontrolor. Cílem této zkoušky mělo být zjištění případných povrchových vad v kořeni koutového svaru a v jeho okolí. Před provedením zkoušky byl povrch mechanicky očištěn a odmaštěn. Očištění je vidět na obrázku 11. Po očištění a odmaštění byl na povrch nanesen barevný penetrant. Nanesený penetrant na vzorku je vidět na obrázku 12. Po uplynutí penetrační doby byl přebytek penetrantu odstraněn a na povrch byla nanesena vývojka. Na obrázku 13 je viditelné, že se v kořeni svaru a jeho oblasti nevyskytují žádné povrchové vady. Výsledek byl označen jako vyhovující. Údaje o zkoušce a jejím vyhodnocení jsou uvedeny v kontrolním protokolu číslo 13_Qte_70, který je přílohou F.



Obr. 11 – Připravený vzorek pro zkoušku



Obr. 12 – Nanesený penetrant na vzorku



Obr. 13 – Vyvolání indikace pomocí vývojky

3.2 Vizuální zkouška svarového spoje

Po kompletním svaření zkušebního vzorku byla provedena 100 % vizuální zkouška svarových spojů. Jednalo se o svary svařené metodami 135 a 121. Zkouška byla provedena dle prováděcí normy ČSN EN ISO 17637. Kritéria přípustnosti byla dle stupně jakosti B a C dle normy ČSN EN ISO 5817. Osvětlení při zkoušce bylo 600 Lx. Pro kontrolu bylo použito přídavné světlo, měrka svarů, lupa a metr. Po provedení zkoušky nebyly zaznamenány žádné vady. Zkouška byla označena jako vyhovující.

3.3 Zkouška ultrazvukem

Po celkovém svaření zkušebního vzorku byla provedena 100 % kontrola obou svarů ultrazvukem. Cílem této kontroly mělo být zjištění případných vnitřních vad ve svarech. Kontrola byla provedena v souladu s normami ČSN EN ISO 5817 stupeň jakosti B, ČSN EN ISO 17635, ČSN EN ISO 17640 a ČSN EN 11666 stupeň přípustnosti 2. Zkoušku prováděl kvalifikovaný firemní kontrolor. Při provádění kontroly byla teplota okolního vzduchu 22 °C. K provedení kontroly byl použit přístroj GE USM 35X, který je na obrázku 14 a kontrolní sondy MWB 60°, 70° a MSEB 4. Frekvence ultrazvuku byla 4 MHz a jako vazební prostředí byl použit gel. Po provedení kontroly nebyly ve svarech zjištěny žádné vnitřní vady a výsledek byl označen jako vyhovující. Údaje o zkoušce a jejím vyhodnocení jsou uvedeny v kontrolním protokolu číslo 13_Qte_75, který je přílohou G.

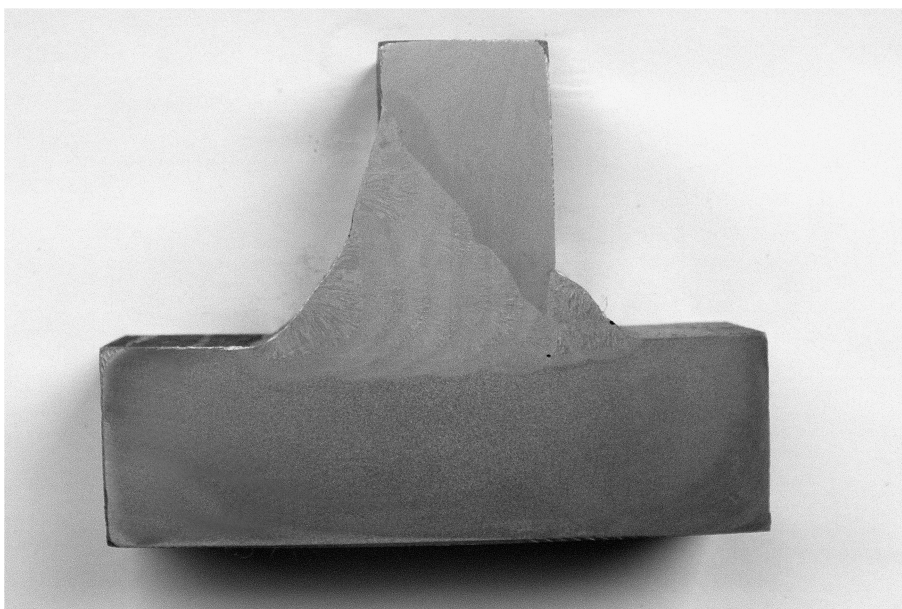


Obr. 14 – Přístroj GE USM 35X [10]

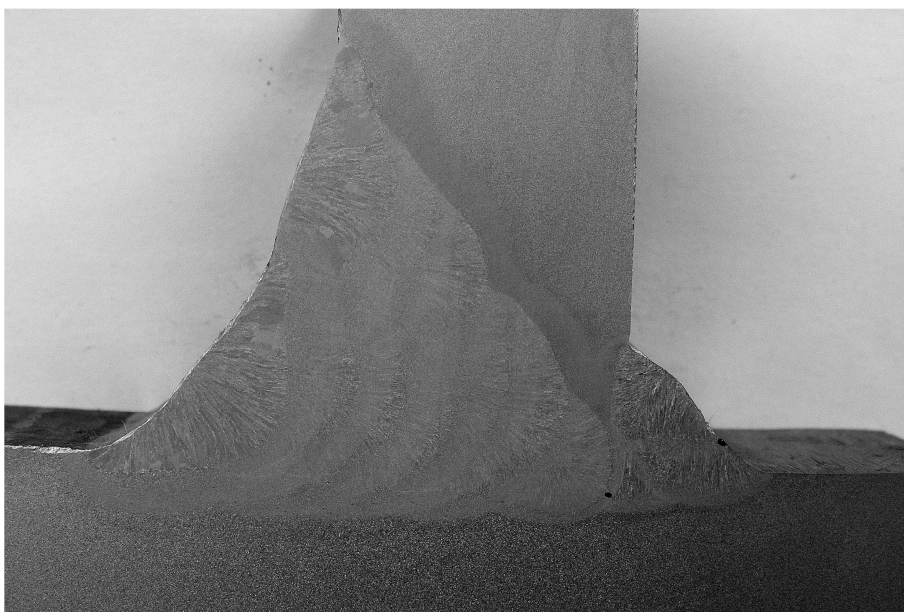
3.4 Metalografie svaru

Po provedení nedestruktivních zkoušek svaru byla na zkušebním vzorku provedena metalografická zkouška. Byla provedena pouze makrostruktura. Zkoušení probíhalo v souladu s prováděcí technickou normou ČSN EN 1321. Ze vzorku byl vyříznut plátek, který měl tloušťku 20 mm. Jedna strana tohoto plátku byla broušena několika brusnými papíry od nejhrubšího po nejjemnější. Broušení probíhalo ve vodní lázni. Po dokonalém vybroušení byl povrch naleptán 10% roztokem kyseliny dusičné a řádně opláchnut a vysušen. Zkušební vzorek je zobrazen na obrázku 15.

Na obrázku 16 je detailní snímek makrostruktury. Z něj je patrné, že se jedná o úkosový svár. Dále je vidět kladení jednotlivých vrstev svaru. Úkosový svár je svařen na 9 vrstev a koutový svár na 3 vrstvy. Provaření kořene svaru je dokonalé. V kořeni svaru je vidět pouze 0,5 mm široký vměstek, který je v rozsahu stupně jakosti B dle normy ČSN EN ISO 5817. Tento vměstek nemá velký vliv na kvalitu svarového spoje. Šířka tepelně ovlivněné oblasti je přibližně 6 mm. Výsledek metalografické zkoušky je vyhovující.



Obr. 15 – Makrostruktura navrženého svaru



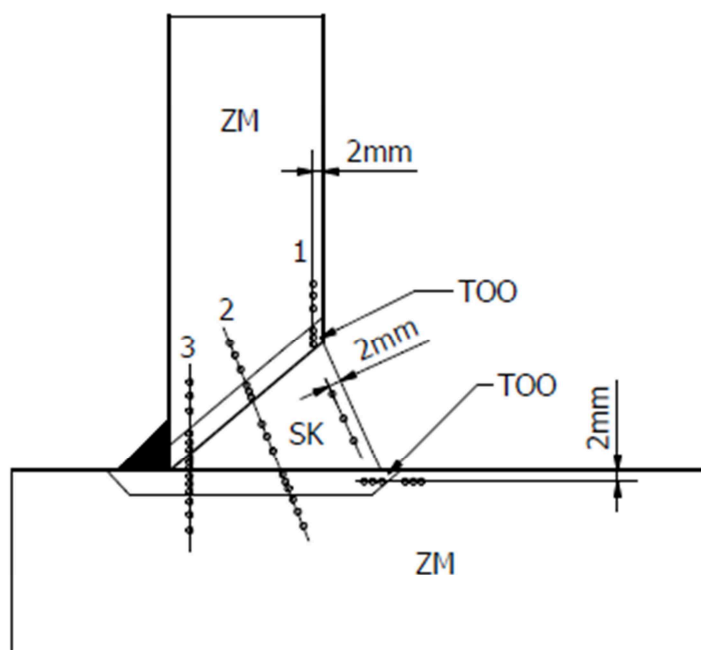
Obr. 16 – Detail makrostruktury navrženého svaru

3.5 Měření tvrdosti

Na svarovém vzorku byla měřena tvrdost HV10 svarového kovu, tepelně ovlivněné oblasti a základního materiálu. Měření se provádělo dle prováděcího předpisu ČSN EN 9015-1 pouze na svaru, který byl svařen automatem pod tavidlem (121). Teplota okolního vzduchu byla při měření 20 °C. Byly provedeny 3 řady vpichů a jedna z nich byla provedena 2 mm pod povrchem materiálu. V každé oblasti svaru byly provedeny 3 vpichy. Měření je znázorněno na obrázku 17. V tabulce 6 jsou vypsány všechny naměřené hodnoty tvrdosti. Maximální povolená tvrdost je dle předpisu ČSN EN ISO 15614-1 380 HV10. V tabulce 7 jsou vypsány pouze maximální naměřené hodnoty tvrdosti. Ani jedna z hodnot nepřesahuje maximální povolenou hodnotu. Tvrdost svarového spoje je vyhovující.

Tabulka 6 – Naměřené hodnoty tvrdosti

TVRDOST HV10															
Číslo	Základní materiál			TOO			Svarový kov			TOO			Základní materiál		
1	165	146	154	144	156	187	185	177	179	189	170	158	147	140	142
2	153	155	148	148	166	187	177	168	178	166	160	151	149	162	150
3	145	154	148	148	162	195	194	186	181	185	162	148	151	154	151



Obr. 17 – Měření tvrdosti

Tabulka 7 – Maximální naměřené hodnoty tvrdosti

TVRDOST HV10					
Číslo	max. ZM	max. TOO	max. SK	max. TOO	max. ZM
1	165	187	185	189	162
2	155	187	177	166	162
3	154	195	194	185	154

3.6 Stanovení teploty předehřevu

Jelikož má metoda svařování automatem větší svařovací parametry, je nutné na jejich základě stanovit novou teplotu předehřevu. Teplota bude stanovena podle normy ČSN EN 1011-2, metoda A. Pro stanovení teploty touto metodou je nutné určit kombinovanou tloušťku svařovaných plechů. Dále je nutné spočítat teplo vnesené do svaru. To se počítá podle normy ČSN EN 1011-1. Pro výpočet je potřebné znát svařovací parametry a koeficient tepelné účinnosti pro danou metodu svařování. Na základě těchto hodnot se z diagramu na obrázku 17 stanoví teplota předehřevu.

Výpočet kombinované tloušťky

$$d = d_1 + d_2 = 25 + 30 = 55[mm] \quad (1)$$

Tepelný příkon

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot \frac{34 \cdot 720}{10} \cdot 10^{-3} = 2,248[kJ \cdot mm^{-1}] \quad (2)$$

Kde:

$$k=1$$

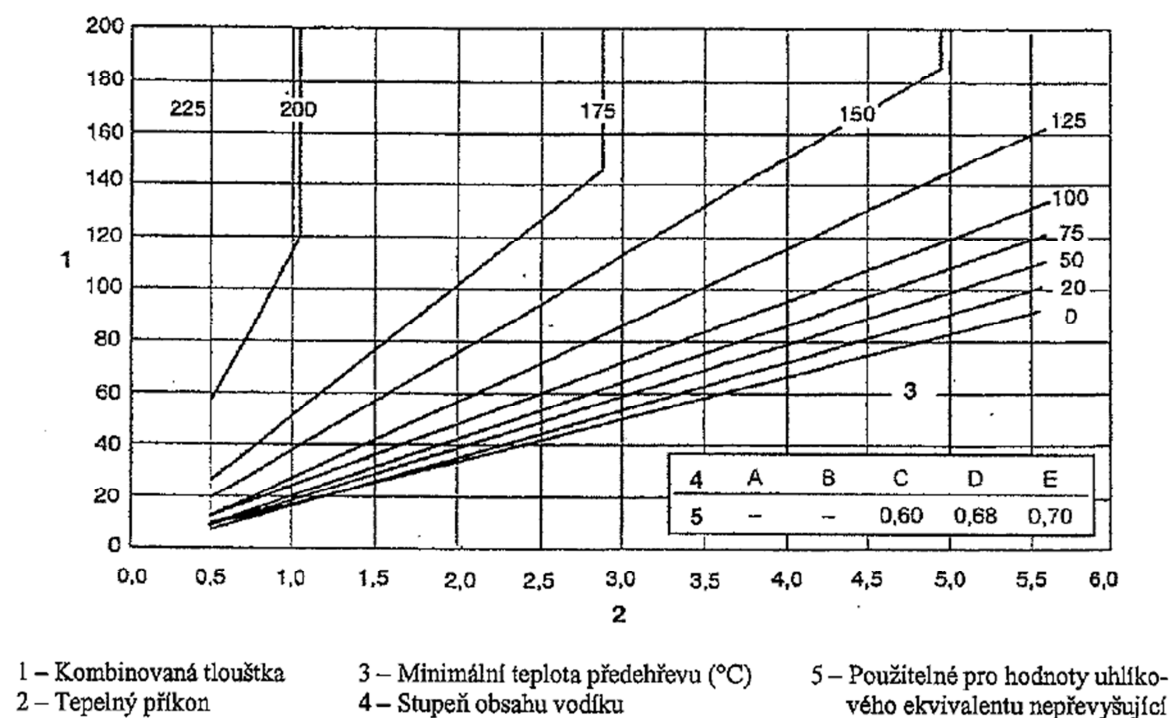
$$U=34[V]$$

$$I=720[A]$$

$$v=10[mm/s]$$

Teplota předehřevu

V diagramu na obrázku 18 se na ose x nachází tepelný příkon a na ose y kombinovaná tloušťka svařovaných plechů. Vypočítaným hodnotám podle grafu odpovídá teplota předehřevu **T=100[°C]**.



Obr. 18 – Diagram pro stanovení teploty předehřevu [5]

3.7 Návrh WPQR a WPS pro metodu SAW (121)

Aby mohla být technologie svařování automatem pod tavidlem (121) legálně používána, musí být kvalifikován nový postup svařování WPQR a musí být vystavena specifikace svařování WPS. Ta určuje postup svařování navrženého svaru. Na zkušební vzorku byla provedena vizuální zkouška svaru, penetrační zkouška kořene svaru, zkouška svaru ultrazvukem, zkouška makrostruktury a měření tvrdosti svaru. Dále byla stanovena teplota předehřevu. Výsledky těchto zkoušek a měření byly vyhodnoceny jako vyhovující. Na základě těchto zkoušek byla navržena předběžná kvalifikace postupu svařování WPQR jejíž označení je 1P-1669. Kompletní návrh je v příloze H. Na základě navržené WPQR byla navržena předběžná specifikace svařování WPS, jejíž označení je 21_B3_31. Toto číselné označení je ve WPQR uvedeno. Kompletní návrh WPS je v příloze CH. Koutový svár, kterým je navržený svár podložen se bude svařovat dle současné WPQR číslo 1P-851, která je přílohou C, a dle WPS číslo 35_FW_PF_QT, která je přílohou D. Tyto v současné době používané dokumenty jsou řádně schváleny Českým svářečským ústavem.

Je důležité upozornit na to, že WPQR a WPS jsou pouze předběžné návrhy. Pro oficiální kvalifikaci musí být svařen nový zkušební vzorek, na kterém budou muset být provedeny nové zkoušky. Kromě těch, které byly provedeny nyní, bude muset být provedena ještě příčná zkouška tahem, zkouška lámavosti a zkouška rázem v ohybu. Vše bude muset být provedeno kvalifikovaným personálem pod odborným dohledem pracovníka Českého svářečského ústavu.

3.8 Požadavky na kvalifikaci svářeče

Obsluhu svařovacího automatu může provádět pouze kvalifikovaný svářeč. Z tohoto důvodu bude potřeba zaškolit nové pracovníky. Kvalifikace svářečů se pro metodu svařování automatem pod tavidlem (121) provádí dle normy ČSN EN 1418. V kvalifikaci je uveden typ svaru a poloha, které může svářeč svařovat. V tomto případě se jedná o svar BW – tupý spoj a polohu PA – vodorovná shora dle ČSN EN ISO 6947.

4. Ekonomické vyhodnocení

Pro svařování silnostěnných nosníků byla firmou Qtech vybrána technologie svařování autematem pod tavidlem. Tato technologie je podrobně popsána ve druhé kapitole, kde jsou podrobně rozepsány i pořizovací náklady zařízení pro svařování. V této části je podrobně rozepsán současný stav svařování a navržená technologie. Jsou zde rozepsány výrobní časy, náklady na jednotlivé činnosti, spotřeba energie a přídavného materiálu. Tato data jsou porovnávána a vyhodnocena z ekonomického hlediska.

4.1 Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu MAG (135)

Sestavení a stehování

Postup stehování celého nosníku je popsán v kapitole 1.4. V tabulce 8 jsou rozepsány jednotlivé zámečnické operace včetně výrobních časů. Tyto časy jsou spočítány z podnikového normativu pro zámečnické operace. Celkový výrobní čas je vynásoben hodinovou sazbou zámečníka, která činí 350 Kč/h. Tím je vypočítána cena za sestavení a stehování nosníku.

Tabulka 8 – Cena za sestavení a stehování nosníku

Druh činnosti	Výrobní čas [min]	Výrobní čas [h]
Příprava	30	0,5
Manipulace	60	1
Rýsování	72	1,2
Sestavení a stehování	150	2,5
Rovnění	84	1,4
Povrchová úprava	180	3
Popsání konstrukce	6	0,1
Celkový čas	582	9,7
Celková cena [Kč]	3395,-	

Svařování

V tabulce 9 je uveden souhrn časů všech operací, které se týkají svařování celého nosníku. Časy za svaření nosníku jsou spočítány z podnikového normativu pro svářečské operace. Celkový časový rozbor svarů je uveden v příloze A. V tabulce je dále uvedena celková cena za svařování. Cena je spočítána tak, že byl celkový čas za svaření vynásoben hodinovou sazbou svářeče. Hodinová sazba činí 350 Kč/h. V tabulce 10 jsou vyselektovány výrobní časy a ceny za provedení svarů, které byly vybrány pro mechanizaci. Tyto časy budou porovnány s mechanizovanou technologií svařování.

Tabulka 9 – Cena za svaření nosníku

Druh činnosti	Výrobní čas [min]	Výrobní čas [h]
Svařování	2444	40,7
Příprava	30	0,5
Drážkování a čištění kořene svaru	160	2,67
Předeheřev	120	2
Manipulace	120	2
Celkový čas	3075	51,2
Celková cena [Kč]	17 920,-	

Tabulka 10 – Cena za svaření svarů vybraných pro mechanizaci

Svár	Čas za jeden svár [h]	Čas za dva sváry [h]
Svár 1	6,2	12,4
Svár 2	6,4	12,8
Celkový čas [h]	12,6	25,2
Celková cena [Kč]	4410,-	8820,-

Přídavný materiál

Množství přídavného materiálu na celý svařenec činí 105 kg. Pro svařování nosníků se používá přídavný materiál OK Autrod 12.50 od firmy ESAB. Cena svařovacího drátu je 42 Kč/kg. Celková cena přídavného materiálu, který je potřebný na svaření celého nosníku činí 4410 Kč. V tabulce 11 je rozepsáno množství přídavného materiálu na svary, které byly vybrány pro mechanizaci. Dále je v tabulce uvedena cena přídavného materiálu, který je potřebný na svaření vybraných svarů. Cena byla spočítána tak, že bylo množství přídavného materiálu vynásobeno cenou za 1 kilogram.

Tabulka 11 – Množství přídavného materiálu na vybrané svary

Svár	Množství přídavného materiálu na jeden svár [kg]	Množství přídavného materiálu na dva svary [kg]
Svár 1	17	34
Svár 2	18	36
Celkové množství [kg]	35	70
Cena přídavného materiálu [Kč]	1470,-	2940,-

Výpočet ceny spotřebované elektrické energie

Pro výpočet spotřeby elektrické energie za svařování nosníku je třeba znát příkon svářečky. Ten je počítán ze svařovacích parametrů. Svařovací napětí $U=26$ V a svařovací proud $I=230$ A. Spotřeba energie je pak spočítána z příkonu a času svařování. Cena za spotřebovanou energii je spočítána ze spotřeby a cenové sazby. Sazba je určena podle nabídky od společnosti ČEZ. Časy za svařování jsou uvedeny v tabulkách 9 a 10.

Sazba

$$S=1208 \text{ [MWh]} = 1,208 \text{ [kWh]} \quad (3)$$

Příkon svářečky

$$P = U \cdot I = 30 \cdot 262 = 7860[W] = 7,86[kW] \quad (4)$$

Spotřeba elektrické energie na svaření celého nosníku

$$X_C = P \cdot t_C = 7,86 \cdot 51,2 = 402,4[kWh] \quad (5)$$

Cena elektrické energie za svaření celého nosníku

$$C_E = X_C \cdot S = 402,4 \cdot 1,208 = 486[Kč] \quad (6)$$

Spotřeba elektrické energie za svaření svaru číslo 1

$$X_1 = P \cdot t_1 = 7,86 \cdot 6,2 = 48,7[kWh] \quad (7)$$

Cena elektrické energie za svaření svaru číslo 1

$$C_{E1} = X_1 \cdot S = 48,7 \cdot 1,208 = 58,7[Kč] \quad (8)$$

Spotřeba elektrické energie za svaření svaru číslo 2

$$X_2 = P \cdot 2 = 7,86 \cdot 6,4 = 50,3[kWh] \quad (9)$$

Cena elektrické energie za svaření svaru číslo 2

$$C_{E2} = X_2 \cdot S = 50,3 \cdot 1,208 = 60,7[Kč] \quad (10)$$

4.2 Svařování automatem pod tavidlem SAW (121)

Sestavení a stehování

Spotřeba času na sestavení a stehování těchto nosníků zůstává stejná jako u předchozí varianty. Mění se pouze technologie svařování vybraných svarů a ta spotřebu času na zámečnickou operaci neovlivní.

Svařování

V tabulce 12 je uveden souhrn časů všech operací, které se týkají svařování celého nosníku. Zde je počítáno s tím, že vybrané svary jsou svařeny automatem pod tavidlem. Čas za svařování těchto svarů je spočítán z rychlosti svařování, která je 0,5 m/min. Časy za svaření ostatních svarů jsou stejné jako u předchozí technologie. V tabulce je dále uvedena celková cena za svařování. Cena je spočítána tak, že byl celkový čas za svaření vynásoben hodinovou sazbou svářeče. Hodinová sazba činí 350 Kč/h. V tabulce 13 jsou vyselektovány výrobní časy a ceny za svařování automatem pod tavidlem. Tyto časy budou porovnány s původní variantou.

Tabulka 12 – Cena za svaření nosníku

Druh činnosti	Výrobní čas [min]	Výrobní čas [h]
Svařování	1378	22,9
Příprava	30	0,5
Příprava automatu	30	0,5
Drážkování a čištění kořene svaru	160	2,67
Předehřev	120	2
Manipulace	120	2
Celkový čas	1838	30,6
Celková cena [Kč]	10 710,-	

Tabulka 13 – Cena za svaření svarů vybraných pro mechanizaci

Svár	Čas za jeden svár [h]	Čas za dva sváry [h]
Svár 1	1,35	2,7
Svár 2 (SAW)	1,52	3,04
Svár 2 (MAG)	1	2
Celkový čas [h]	3,87	7,74
Celková cena [Kč]	1355,-	2710,-

Přídavný materiál

Množství přídavného materiálu na celý svařenec činí 105 kg. Pro svařování metodou automatem pod tavidlem bude používán přídavný materiál OK Autrod 12.20 jehož cena je 91 Kč/kg a tavidlo OK Flux 10.45. Pro zbytek svarů bude nadále používán přídavný materiál OK Autrod 12.71 od firmy ESAB. Cena tohoto svařovacího drátu je 42 Kč/kg. Celková cena přídavného materiálu, který je potřebný na svaření celého nosníku činí 7528 Kč. Množství přídavného materiálu je stejné jakou u původní technologie. V tabulce 14 je rozepsáno množství přídavného materiálu na svary, které budou svařovány automatem pod tavidlem. Dále je v tabulce uvedena cena přídavného materiálů, který je potřebný na svaření vybraných svarů. Cena byla spočítána tak, že bylo množství přídavného materiálu vynásobeno cenou za 1 kilogram.

Tabulka 14 – Množství přídavného materiálu na vybrané svary

Svár	Množství přídavného materiálu na jeden svár [kg]	Množství přídavného materiálu na dva sváry [kg]
Svár 1	17	34
Svár 2 (SAW)	14,8	29,6
Svár 2 (MAG)	3,2	6,4
Celkové množství [kg]	35	70
Cena přídavného materiálu [Kč]	3029,-	6058,-

Výpočet ceny spotřebované elektrické energie

Cena za spotřebovanou elektrickou energii je zde spočítána stejným způsobem jako u předchozí varianty. Časy za svařování jsou uvedeny v tabulkách 12 a 13.

Sazba

$$S=1208 \text{ [MWh]} = 1,208 \text{ [kWh]} \quad (11)$$

Příkon svářečky

$$P_A = U \cdot I = 34 \cdot 720 = 24480[W] = 24,48[kW] \quad (12)$$

Spotřeba elektrické energie za svaření svaru číslo 1

$$X_{S1} = P_A \cdot t_1 = 24,48 \cdot 1,35 = 33[kWh] \quad (13)$$

Cena elektrické energie za svaření svaru číslo 1

$$C_{ES1} = X_{S1} \cdot S = 33 \cdot 1,208 = 39,86[Kč] \quad (14)$$

Spotřeba elektrické energie za svaření svaru číslo 2

$$X_{S2} = P_A \cdot t_{S2} + P \cdot t_{M2} = 24,48 \cdot 1,52 + 7,86 \cdot 1 = 45[kWh] \quad (15)$$

Cena elektrické energie za svaření svaru číslo 2

$$C_{ES2} = X_{S2} \cdot S = 45 \cdot 1,208 = 54,3[Kč] \quad (16)$$

Spotřeba energie za svaření celého nosníku

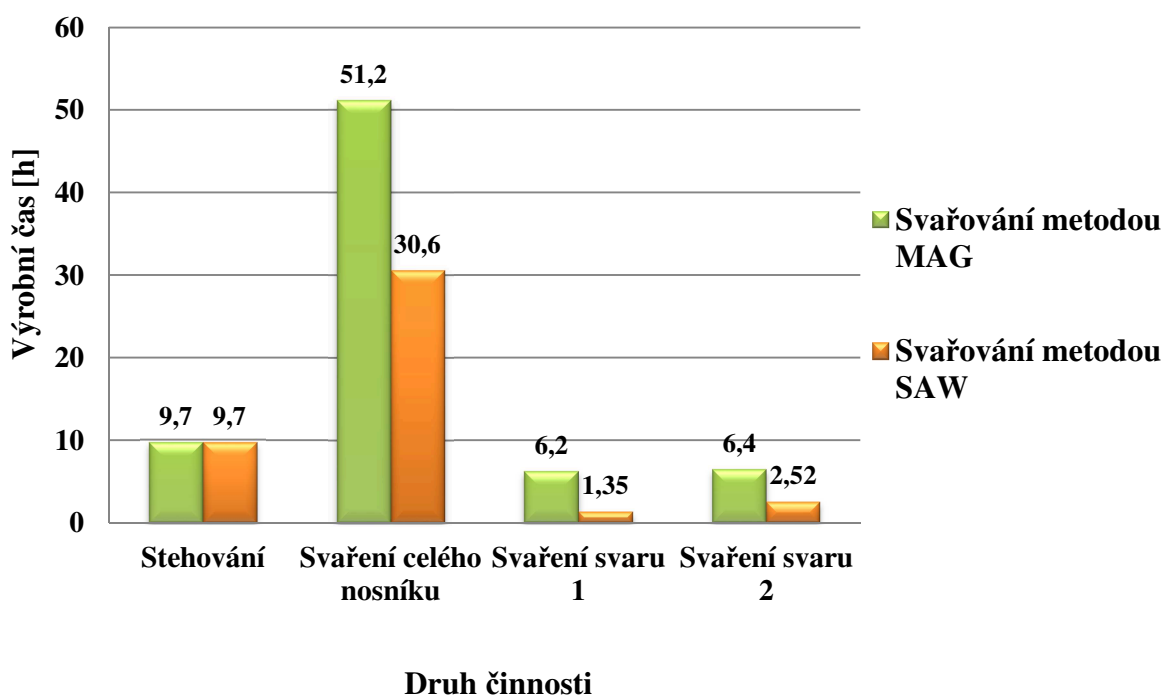
$$X_{CS} = (X_C - X_1 - X_2) + X_{S1} + X_{S2} = (402,4 - 48,7 - 50,3) + 33 + 45 = 381,4[kWh] \quad (17)$$

Cena elektrické energie za svaření celého nosníku

$$C_{ES} = X_{CS} \cdot S = 381,4 \cdot 1,208 = 460,7[Kč] \quad (18)$$

4.3 Ekonomické porovnání technologických variant

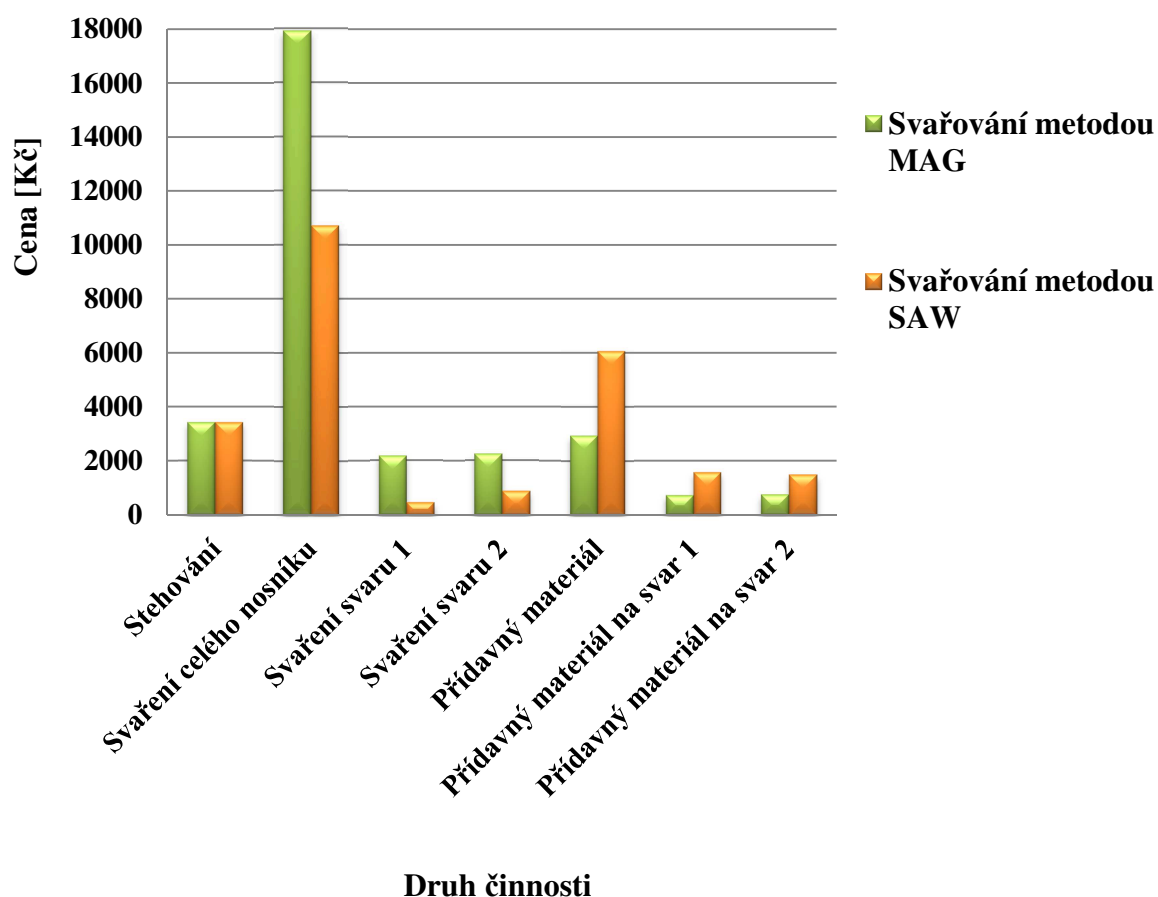
V ekonomickém porovnání technologických variant je srovnávána metoda svařování autosem pod tavidlem s metodou tavící se elektrodou v aktivním plynu. Srovnání z hlediska výrobních časů je znázorněno v grafu na obrázku 19. Z grafu je patrné, že výrobní čas na sestavení a stehování je u obou variant stejný protože změna technologie svařování na toto nemá značný vliv. Čas za sestavení a stehování je podrobně rozepsán v tabulce 8. Svaření celého nosníku trvá při použití původní technologie 51,2 h. Při použití nové technologie se čas svařování zkrátí na 30,6 h. Dále jsou zde srovnány časy za svaření jednotlivých svarů, které jsou vybrané pro mechanizaci. Rozdíl časů u svaru číslo 1 je 4,85 h a u svaru číslo 2 činí 3,88 h. Toto výrazné zkrácení časů je způsobeno větší rychlostí svařování a použitím svařovacího drátu o větším průměru. Časy za svařování jsou podrobněji rozepsány v tabulkách 9, 10, 11 a 12.



Obr. 19 – Srovnání výrobních časů

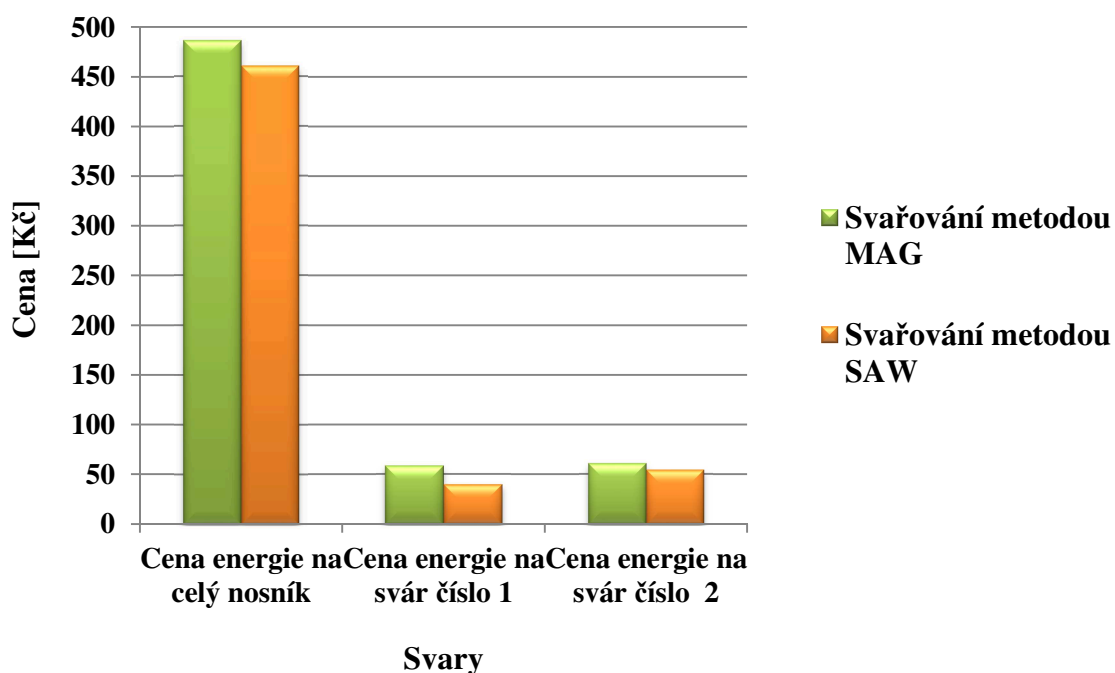
V grafu na obrázku 20 jsou srovnány ceny za stehování, svařování a přídatný materiál. Cena za sestavení a stehování nosníku je u obou variant stejná a činí 3395 Kč. Cena za svaření celého nosníku se při použití nové technologie svařování sníží o 7210 Kč. Cena za svaření sváru číslo 1 se při použití metody svařování automatem pod tavidlem sníží o 1697 Kč a za svaření sváru číslo 2 se sníží o 1358 Kč.

U cen za svařování dojde k jejich poklesu, protože jsou kratší i výrobní časy. Naopak je tomu u přídatného materiálu. Svařovací drát, který je použit u svařování automatem pod tavidlem, má podstatně vyšší cenu. Cena za množství svařovacího drátu použitého na celý svařenec je 6058 Kč. To je o 3118 Kč více než u původní technologie svařování. U svaru číslo 1 tento rozdíl činí 833 Kč a u svaru číslo 2 činí 726 Kč.



Obr. 20 – Srovnání cen za svařování

V grafu, který je na obrázku 21, jsou srovnány náklady na spotřebu elektrické energie. Rozdíl ceny za elektrickou energii, která je spotřebována na svaření celého nosníku, je 25 Kč. Za svaření sváru číslo 1 je pak tento rozdíl 19 Kč a za svaření sváru číslo 2 činí 7 Kč. Z grafu je patrné, že se ceny za spotřebu elektrické energie při použití obou technologií příliš neliší.



Obr. 21 – Srovnání cen za spotřebovanou energii

Z tohoto ekonomického rozboru je patrné, že změna technologie svařování má nejpriznivější vliv na čas svařování, a tím i cenu za provedení svarů. Ke značnému zvýšení ceny dojde především u přídavného materiálu, protože pro technologii svařování automatem pod tavidlem je svařovací drát podstatně dražší. Toto navýšení ceny je ale kompenzováno podstatně nižší cenou za svařování.

4.4 Zhodnocení nákladů na zavedení nové technologie

Pro zavedení nové technologie bude muset firma investovat do kvalifikování postupu svařování WPQR Českým svářečským ústavem. Bude nutné zakoupit svařovací traktor od firmy ESAB, jehož cena je 649 502 Kč. Dále bude potřeba zakoupit sušící pec na tavidlo. Nezbytné bude investovat do potřebných kvalifikací pro stávající svářeče a přijmout další nové svářeče, aby byl zajištěn minimálně dvousměnný provoz zařízení. Pro další usnadnění výroby může být zakoupeno nebo vyrobeno vhodné polohovadlo a případně i přípravky.

5. Závěr

Tato diplomová práce byla vypracována na základě požadavku firmy Qtech. Přáním firmy bylo vybrat vhodnou mechanizovanou technologii pro svařování ocelových silnostěnných nosníků. Tento požadavek vznikl proto, aby se zvýšila produktivita výroby, snížily náklady na výrobu a zvýšila kvalita provedených svarů.

Z několika navržených technologií byla vybrána metoda svařování automatem pod tavidlem. Byl navržen a předběžně kvalifikován postup svařování WPQR a na jeho základě byla navržena specifikace svařování WPS. Aby mohla být kvalifikace provedena, byl svařen zkušební vzorek. Na tomto vzorku bylo provedeno několik nedestruktivních a destruktivních zkoušek svarového spoje. Výsledky zkoušek byly řádně zaznamenány do kontrolních protokolů. Pokud se firma rozhodne tuto technologii zakoupit, zkoušky, které jsem provedl, se budou muset zopakovat na novém vzorku a bude nutné provést i další zkoušky. To vše pod dohledem pracovníka Českého svářečského ústavu. Na jejich základě pak bude kvalifikován postup WPQR.

Dále bylo provedeno ekonomické srovnání současné technologie svařování s navrhovanou. Byly porovnány výrobní časy na sestavení, stehování, svařování. Dále byly porovnány náklady na svařování, přídavný materiál a na spotřebovanou elektrickou energii. Z těchto srovnání plyne, že svařování automatem pod tavidlem má podstatně kratší časy na svařování a tím i menší náklady.

Pokud bude tato technologie zavedena do výroby, bude nutné investovat do svařovacího zařízení, kvalifikační postupu svařování, kvalifikací stávajících a nových pracovníků, tak aby bylo zajištěno co největší využití této technologie.

Zavedení svařování automatem pod tavidlem do výroby firmy Qtech přinese vyšší produktivitu výroby, zvýšení kvality provedených svarů a tím i větší úspěch na trhu. Tato technologie své využití najde i u jiných výrobků, které mají stejnou anebo podobnou koncepci jako tyto nosníky.

6. Seznam použité literatury

- [1] Internetový magazín automig.cz [online]. Teplice : Migatronic.cz,2013- [cit. 20. dubna 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>>
- [2] SVARINFO.cz [online]. SVARWEB.cz, 2006- [cit. 20. dubna 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2007101501>>
- [3] Esab.cz [online]. CommonSpot.Center Serve, 2013- [cit. 20. dubna 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://products.esab.com/Templates/T041.asp?id=120747>>
- [4] HRIVŇÁK, Ivan. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava : Slovenskej akadémie vied, 1989. 344s. ISBN 80-224-0016-5.
- [5] KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK, Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava : Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava; VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. 241s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [6] fronius [online]. Praha: Fronius International GmbH., 2006- [cit. 20. dubna 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-FF0D6015-C0ED3A41/fronius_ceska_republika/hs.xml/29_3922.htm>
- [7] TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ. *Studijní opory pro výuku v kuzru 5TE, ETV, ETV-K ÚST, odbor svařování a PÚ*. [online]. [23.4.2013]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_svarovani__5te_etv__etv-k__kubicek.pdf>

- [8] thefabricator.com [online]. Rockford : Thefabricator.com, 2010- [cit. 20. dubna 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/welding-the-fast-and-narrow>>
- [9] Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. 1.vyd. Ostrava: Zeross. 2001 396 s. ISBN 80-85771-81-0
- [10] gc-mcs.jp [online]. Measurement & Control, 2013- [cit. 4. května 2013]. Zpravodaj. Dostupné na WWW: <<http://gc-mcs.jp/it/products/ut/fd/usm/usm35x.html>>

7. Seznam příloh

5.5300.0390-0

Výrobní výkres svařence

PŘÍLOHA A

Časový rozbor svařování

PŘÍLOHA B

Norma určující navýšení svarů

PŘÍLOHA C

WPQR pro svařování metodou MAG

PŘÍLOHA D

WPS pro svařování koutových svarů metodou MAG

PŘÍLOHA E

WPS pro svařování tupých svarů metodou MAG

PŘÍLOHA F

Protokol o provedení kapilární zkoušky svarů

PŘÍLOHA G

Protokol o provedení ultrazvukové zkoušky svarů

PŘÍLOHA H

WPQR pro svařování metodou SAW

PŘÍLOHA CH

WPS pro svařování metodou SAW

Kompletní diplomová práce je v daném rozsahu v elektronické podobě na CD mediu.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Vladislavu Ochodkovi za odborné připomínky a pomoc při vypracování diplomové práce.

V Ostravě 20. května 2013



.....
podpis studenta